

文章编号 1004-924X(2009)02-0433-06

立体显示中立体深度与视差图获取的关系

王爱红,王琼华,李大海,陶宇虹,李小方

(1. 四川大学 电子信息学院,四川 成都 610065;

2. 四川大学 视觉合成图形图像技术国防重点学科实验室,四川 成都 610065)

摘要:自由立体显示器的再现立体深度与视差图的视差大小有关系,而视差的大小与获取视差图时相机摆放方式密切相关。本文采用平行结构放置相机,通过设置相机间距使得拍摄到的视差图在相对平移后某一深度物点具有零视差,而另一深度物点具有所期望的视差。视差大小体现了再现立体深度大小,从而得到再现立体深度与相机间距间的定量关系。通过实验验证了推出关系的正确性。该研究结果可用于指导拍摄立体影像时相机的摆放,便于获得适当的视差图以达到最佳的立体显示效果。

关键词:自由立体显示;立体深度;视差图;相机摆放

中图分类号: TN141 **文献标识码:** A

Relationship between stereo depth and parallax image captured in stereoscopic display

WANG Ai-hong, WANG Qiong-hua, LI Da-hai, TAO Yu-hong, LI Xiao-fang

(1. School of Electronics and Information Engineering, Sichuan University, Chengdu 610065, China; 2. Key Laboratory of Fundamental Synthetic Vision Graphics and Image for National Defense, Sichuan University, Chengdu 610065, China)

Abstract: In stereoscopic displays, stereo depth is associated with parallax in parallax image, and parallax is related with the layout of cameras when the parallax images are captured. In the paper, these cameras are laid in parallel configuration. By setting proper distance between cameras and shifting the images reasonably, the objects with a certain depth have zero parallax and the objects with other depth have expected parallax. The parallaxes correspond to different stereo depths, so the quantitative relationship between stereo depth and distance of two cameras for capturing the parallax images is obtained. An experiment is carried out to verify the theory, the results show that proposed quantitative relationship can help to take good parallax images for stereoscopic displays by laying out cameras suitably.

Key words: stereoscopic display; stereo depth; parallax image; layout of camera

收稿日期:2008-04-16;修订日期:2008-06-30.

基金项目:国家高技术研究发展专项经费资助项目(No. 2007AA01Z301)

1 引言

立体显示技术已成为当今引人注目的前沿科技,而光栅式裸眼自由立体显示是目前最重要的立体显示方式之一。该立体显示器由平板显示器和光栅屏组成,两者精密耦合在一起。光栅可将处于位置错开的左右眼图像光分开,使观看者在不戴任何眼镜或头盔等辅助设备的情况下左右眼分别看到具有视差的左右眼图像,根据双目视差原理,观看者在大脑将左右眼图像融合成立体图像,从而实现立体显示效果^[1]。

具有视差的左眼和右眼图像称为立体显示的视差图,是由两个具有相同参数的相机按一定间距放置对同一场景拍摄而获得的两幅图像。在现实生活中,人眼观看某一物体时,会聚点与对焦点两者是一致的,即从会聚点到眼睛的距离等于视度调节距离。而在观看光栅式自由立体显示器时,会聚点与对焦点两者是不一致的,当两者的不一致达到一定程度时就会造成视疲劳^[2-3]。因此,在一定条件下,人眼可接受的视差只能在一定范围内,即合适的视差图在立体显示器上才能获得最佳的立体显示效果。那么,如何获取合适的视差图呢?

视差图的获取与相机结构及相机摆放方式密切相关^[4-6]。其中,相机间距在很大程度上影响到立体显示效果。间距太大时很容易引起视疲劳,甚至导致视差超过人眼融合范围而失去立体感;间距太小时立体感会减小甚至消失。只有合理设置相机间距才能得到所需的合适视差图,从而获得最佳的立体显示效果。前苏联尼克菲·阿·恩·莎茨卡娅提出了在拍摄立体图像时为确定相机间距所推荐使用的计算公式^[7]。该公式对选择相机间距具有指导意义,但这只是一个推荐值,在使用该值拍摄立体图像时可以得到立体效果,但不一定是最佳、最理想的效果。为此,本文从所需求的理想立体显示效果出发,分析立体显示中立体深度与视差图获取时相机间距的定量关系,最后实验验证了最终实际观看到的立体显示效果可满足预先所设定的立体显示效果。相机摆放一般可分为平行式和会聚式两种方式^[8],文中相机将采用平行摆放方式。

2 立体深度与视差图获取的关系

2.1 水平视差概念和立体感知原理

同一物点 Q 在左右眼两幅视差图上的对应像素点分别称为左像素点 L 和右像素点 R ,两像素点间的水平距离称为该物点的水平视差,为方便起见,下文将水平视差简称视差,记为 p 。如图

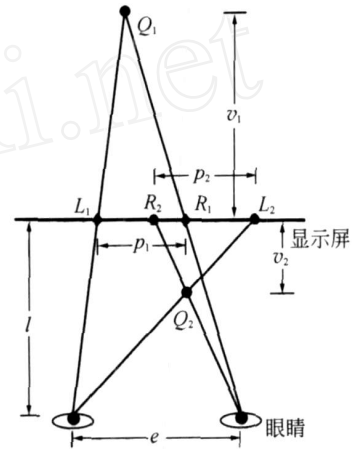


图 1 水平视差的定义和立体感知原理

Fig. 1 Concept of horizontal parallax and principle of stereo perception

1 所示,人双眼观看具有视差的同一物点的像素点时便产生立体感,其立体感知深度 v 由下式决定:

$$v = \frac{lp}{p - e} \quad (1)$$

其中, l 为观看距离, e 为两眼间距,成年人一般约为 65 mm。当某物点的右像素点 R 位于左像素点 L 右侧时,此物点具有正视差,再现立体深度 v 为负,表示观看者看到该物点位于显示屏后方,如物点 Q_1 ;当某物点的右像素点 R 位于左像素点 L 左侧时,此物点具有负视差,再现立体深度 v 为正,表示观看者看到该物点位于显示屏前方,如物点 Q_2 。

针对特定的一款立体显示器,最佳观看距离是确定的,然后根据所希望感知到的立体深度 v 按公式(1)推导出所需的视差 p ,而视差 p 的大小主要取决于视差图获取时相邻相机间的水平间距。这样,就将立体显示器的再现立体深度与获取视差图时相机的摆放位置联系起来,下面就具体讨论两者间的定量关系。

2.2 立体深度与视差图获取时相机间距定量关系的理论推导

建立图 2 所示相机坐标系 $x_c y_c z_c$, 坐标原点为相机主点, z_c 轴为光轴方向, $x_c y_c$ 平面平行于

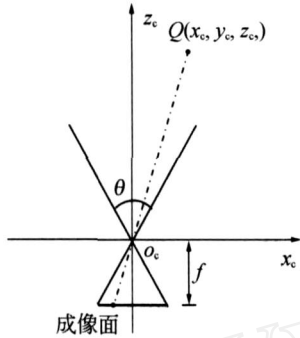


图 2 相机坐标系

Fig. 2 Camera coordinates

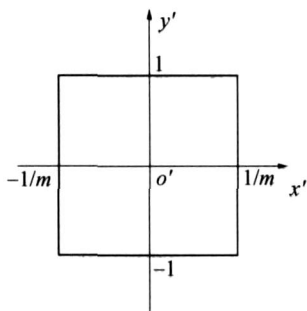


图 3 相机成像面坐标系

Fig. 3 Coordinates of imaging plane

成像面。相机焦距为 f , 视锥角相应为 θ 。在相机的成像面上建立如图 3 所示坐标系 $x' o' y'$, 设成像面的长宽比为 m , 并将宽度归一化到 $(-1, 1)$ 。对于空间任意点 Q , 其空间位置 (x_c, y_c, z_c) 与成像点位置 (x', y') 有如下关系:

$$x' = \frac{f \cdot x_c}{z_c} \quad (2)$$

$$y' = \frac{f \cdot y_c}{z_c \cdot m} \quad (3)$$

$$f = \frac{1}{\tan(\theta/2)} \quad (4)$$

建立图 4 所示空间坐标系 xyz , x 轴平行于两相机主点连线方向, 其中坐标原点为两相机主点连线的中心, z 轴平行于光轴方向, y 轴平行于相机成像面, 在图中垂直于纸面向外。相机间距为 d , 两相机主点的坐标分别为 $(-d/2, 0, 0)$ 和 $(d/2, 0, 0)$ 。由公式 (2) ~ (4), 推导出世界空间

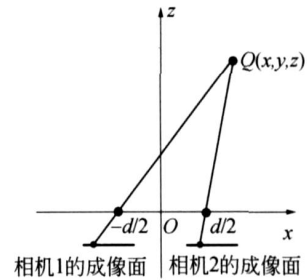


图 4 世界空间坐标系及相机位置

Fig. 4 World coordinates and camera positions

坐标系中任意点 $Q(x, y, z)$ 在相机成像面上像点坐标为:

$$x = \frac{x - x_o}{\tan(\theta/2)} \cdot z \quad (5)$$

$$y = \frac{y}{\tan(\theta/2)} \cdot z \cdot m \quad (6)$$

其中, x_o 为该成像面所属相机主点的 x 轴坐标值, 这里分别为 $-d/2$ 和 $d/2$ 。显然, 满足 $x \in (-1, 1)$, $y \in (-1/m, 1/m)$ 的空间点 $Q(x, y, z)$ 才能成像到成像面上。由公式 (6) 可见, 空间点所成左右像点的 y 坐标值是相同的, 即不存在垂直视差, 这正是相机平行放置优于会聚放置之处。原因在于垂直视差的存在会导致视觉干扰, 从而不利于人眼观看^[9-11]。由公式 (5) 可知, 对于同一深度上的空间点 (z 值相同的点) 在左右成像面上所成的像点 (x 值分别为 x_r 和 x_l) 具有相同的视差值, 此时视差为

$$p = x_r - x_l = \frac{-d}{\tan(\theta/2)} \cdot z \quad (7)$$

若希望在观看立体图像时 $z = z_o$ 的空间点成像于显示屏平面上, 则相应物点的水平视差应为零。此时只需将左视差图相对于右视差图移动 $d/(\tan(\theta/2) \cdot z_o)$, 使 $z = z_o$ 的空间点所成左右像点重合。

为了使一特定 z 值的空间点在立体成像时位于离显示屏距离为 v 处, 由公式 (1) 得到所需视差:

$$p = \frac{v \varphi}{v - l} \quad (8)$$

然而, 左右视差图经过平移后, 特定 z 值的空间点所成的像点具有的水平视差

$$p = d \left(\frac{1}{\tan(\theta/2) \cdot z_o} - \frac{1}{\tan(\theta/2) \cdot z} \right) \quad (9)$$

p 是归一化到 $(-1, 1)$ 的, 而用于立体显示的

视差图是数字图像,立体显示器分辨率为 $A \times B$, 像素宽度为 p_x 。另外,图像在平移处理过程中会导致重叠区域减小。为了解决这一问题,可通过在渲染图像时按一定原则加大水平分辨率,使得剪切后的图像正好满足要求。渲染图像的水平分辨率 A 满足下式:

$$A + \frac{d}{\tan(\theta/2) \cdot z_0} \frac{A}{2} = A \quad (10)$$

因此,若希望最终立体成像时特征点离显示屏距离为 v ,则需满足下式:

$$\frac{p}{2} A p_x = p \quad (11)$$

通过计算得到下式:

$$d = \frac{2v \tan(\theta/2) z_0 z}{A p_x (z - z_0)(v - l) + v e z} \quad (12)$$

显然式(12)中参数 e, l, z_0, A, p_x 是可以确定的,针对特定的 z 值,根据所需的 v 值就可以求出相应的 d 值。这样就得到了再现立体感知深度 v 与相机间距 d 间的定量关系,从而在实际应用中指导相机摆放获得理想的视差图。

3 实验及讨论

在一台 42.5 cm (17 in) 光栅式自由立体显示器上显示立体图像,验证了上述方法的可行性。实验中所采用的视差图是在 3dmax 软件中渲染获得的,如图 5 所示。若希望图中的坦克最前端位于显示屏前 200 mm,立体显示器和相机摆放的主要参数如表 1 所示。

表 1 立体显示器和相机摆放的主要参数

Tab. 1 Main parameters of stereoscopic monitor and cameras

参数	数值
显示器分辨率	1 280 pixels \times 1 024 pixels
像素宽度	0.264 mm
最佳观看距离	2 m
零视差点与相机间距离 z_0	570 mm
特征点与相机间距离 z	390 mm
相机水平视角	39.598°
相机间距 d	18.2 mm
渲染图像的分辨率	670 pixels \times 512 pixels
截取图像的分辨率	640 pixels \times 512 pixels

为了减小存储空间但又不会太降低图像质

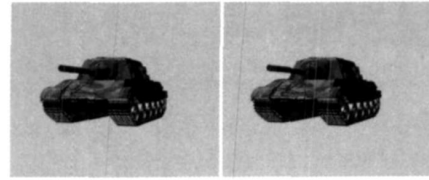


图 5 实验中采用的两个视差图

Fig. 5 Two parallax images in experiment

量,在渲染图像时一般没必要直接渲染显示器所需的分辨率大小,只需渲染 1/4 大小即可,然后经过扩图后合成立体图像源。

同理,采用另外两组相机间距值,获得同一场景的两组视差图,使得再现立体深度分别为 50 mm 和 100 mm。让 6 名观看者分别观看这 3 组立体图像,测试观看者所感知到的立体深度,其结果如图 6 所示。

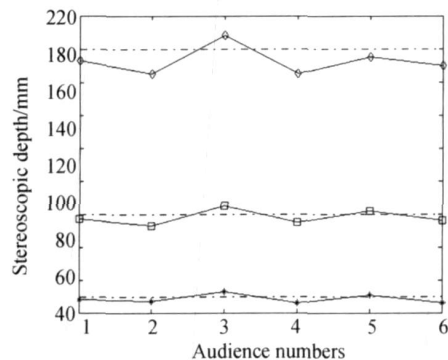


图 6 自由立体显示器立体深度理论值与实验值的对比

Fig. 6 Comparison of theoretical values and experimental values of stereo depths

从图 6 可以看出,这 3 组的测试值与设计值存在误差。误差的存在主要由于 3 方面原因:(1) 实验中各物理量计算时由于约运算处理所引入的误差。(2) 人的因素:人的两眼间距因人略有不同,不全是常规的 65 mm;不同人的立体感也有所不同。(3) 立体显示器性能,如左右眼图像的串扰等因素给测试带来误差。定义相对误差为绝对误差深度与所设计的立体深度的比值,由实验结果可见,测量值与设计值的相对误差基本控制在 $\pm 5\%$ 范围内,从而验证了上述理论的可行性。

4 结论

自由立体显示器的再现立体深度与视差图

的视差大小有关系,而视差的大小与获取视差图时相机摆放方式密切相关。本文中相机采用平行放置结构,通过设置相机间距使得拍摄到的视差图在相对平移一定量后某一深度物点具有零视差,而另一深度物点具有所期望的视差。视差大小体现了再现立体深度大小,从而得到再现立体

深度与相机间距间的定量关系。最后通过实验验证了其可行性。按本文所述方法,可根据人眼可接受的视差范围来指导相机如何摆放,以达到立体显示器的最佳立体显示效果,从而推动光栅式自由立体显示器的广泛应用。

参考文献:

- [1] WANG Q H, TAO Y H, LI D H, *et al.*. 3D autostereoscopic liquid crystal display based on lenticular lens [C]. *Shanghai: Proc. of Asia Display*, 2007:453-455.
- [2] 荆其诚. 人类的视觉[M]. 北京:科学出版社, 1987:124-126.
JING Q CH. *Human's Vision* [M]. Beijing: Science Press, 1987:124-126. (in Chinese)
- [3] 李凤鸣. 眼科全书[M]. 北京:人民卫生出版社, 2002:369-439.
LI F M. *System of Ophthalmology* [M]. Beijing: People's Medical Publishing House, 2002:369-439. (in Chinese)
- [4] CHEN H, YE D, CHE R SH, *et al.*. Stereo camera calibration based on accurate control points[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2006,14(5):903-909.
- [5] YE D, XU Q Y, CHE R SH. Camera calibration technique for vision measurement system[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2006,14(5):883-890.
- [6] ZHU J G, LI Y J, YE SH H. Calibration of line structured light vision system based on camera's projective center[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2005,13(5):584-591.
- [7] 王式孟. 立体摄影的关键技术[J]. 影视技术, 1998(2):8-11.
WANG SH M. The key technology of stereo holography[J]. *Motion Picture & Video Technology*, 1998(2):8-11. (in Chinese)
- [8] 孙延禄. 立体电影摄影的基本规律及立体电影摄影机[J]. 影视技术, 2003(6):41-46.
SUN Y L. The basic principle of three-D photography and three-D cinecameras [J]. *Motion Picture & Video Technology*, 2003(6):41-46. (in Chinese)
- [9] WOODS A, DOCHERTY T, KOCH R. Image distortions in stereoscopic video systems[C]. *Stereoscopic Displays and Applications IV, SPIE*, 1993,1915:36-48.
- [10] YAMANOUE H. The differences between toed-in camera configurations and parallel camera configurations in shooting stereoscopic images [J]. *ICME*, 2006,262877:1701-1704.
- [11] ALLISON R S. The camera convergence problem revisited [J]. *SPIE*, 2004,5291:167-178.

作者简介:



王爱红(1984-),女,江苏南通人,博士研究生,主要从事三维立体显示技术研究。E-mail: wang-4891@163.com



陶宇虹(1982-),男,四川遂宁人,博士研究生,主要从事三维立体显示技术研究。E-mail: T-34-76@163.com



李小方(1984 -),女,河南安阳人,博士研究生,主要从事三维立体显示技术研究。E-mail: xiaodanmeidao @ 163. com



李大海(1968 -),男,贵州松桃人,工学博士,副教授,研究生导师,主要从事光学检测和三维立体显示技术研究。E-mail: dahaili @email. scu. edu. cn

导师简介:



王琼华(1969 -),女,四川通江人,工学博士,教授,博士生导师,主要从事三维立体显示技术研究。E-mail: qh-wang @scu. edu. cn

下期预告

基于块遍历的直线边缘特征提取方法

张建伟^{1,2},张启衡¹

- (1. 中国科学院光电技术研究所,国家 863 计划光束控制重点实验室,四川 成都 610209;
2. 中国科学院研究生院,北京 100039)

为了能够快速而精确的提取图像中扩展目标的直线边缘特征,本文提出了一种基于块遍历的直线提取方法。该算法是先通过块遍历整个图像,然后按照直方图把块分类并进行二值化,再通过链码得到相同单像素直线的多个块表示,然后通过这些直线的斜率和截距进行分类,最后对分类结果求均值,仿真结果表明该方法不仅能正确地提取直线特征且提取的直线可以达到亚像素精度,其角度定位精度超过 0.01 rad。从运算量和复杂性来看,其综合性能要优于经典霍夫变换方法,仍可以得到很好的直线提取结果,并为硬件实现打好了基础。